INSTITUTUL DE STUDII
ŞI PROIECTĂRI ENERGETICE
I.S.P.E.

INSTRUCŢIUNI DE PROIECTARE

CENTRALE ŞI STAŢII

PARTEA ELECTRICĂ

Vol. VI

TRANSFORMATOARE DE TENSIUNE

BUCUREŞTI
1965

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE
INSTITUTUL DE STUDII ȘI PROIECTĂRI ENERGETICE
I. S. P. E.

ATELIERUL ECONOMIC

TRANSFORMATOARE DE TENSIUNE

Ing. C. NEGREANU
Șef de proiect

EDITAT DE SERV. TEHNIC I.S.P.E.

CUPRINSUL

5) Tensiunile care trebuie măsurate. Rezultă în general din tipul aparatelor alimentate.

6) Destinația aparatelor de măsură (evidență tehnică sau comercială).

7) Condiții speciale impuse preciziei măsurătorilor (circuite de interconexiune cu alte țări, generatoare de mare putere, etc). Se stabilesc de comun acord cu UPDE (Unitatea productivă de dispeceri energetici).

8) Tipul, numărul și consumul aparatelor racordate (puterea aparentă și factorul de putere, sau puterea activă și cea reactivă, sau în lipsă, numai puterea aparentă).

9) Zona geografică, altitudinea și condițiile climatice, conf. 4.10.

10) Cataloage de transformatoare de tensiune, cuprinzînd următoarele date:

Tipul constructiv
Numărul fazelor și conexiunea lor
— Tipul miezului
Numărul înfășurărilor secundare
— Tensiunea primară nominală
— Tensiunea secundară nominală
Tensiunea maximă de funcționare
Nivelul de izolație sau standardul corespunzător
— Clasa de precizie a înfășurărilor secundare
— Puterea nominală a înfășurărilor secundare și puterea admisă la diverse clase de precizie.
Puterea maximă a înfășurărilor secundare
— Desenul transformatorului de tensiune, dimensiunile de gabarit, cotele principale, dimensiunile bornelor.
Tipul roților și ecartamentul sau detaliile sistemului de fixare.
Greutatea.
Condiții climatice și de altitudine admise

4. Elementele soluției

4.1. *Criteriile de alegere*

1) Alegerea transformatoarelor de tensiune se face conform criteriilor de la pct. 4.2.—4.10.

2) Instrucțiunile se referă la condițiile climatice din țara noastră, altitudine sub 1000 m și frecvența de 50 Hz. In cazul unor condiții diferite, se va ține seama de ele la alegerea transformatoarelor de tensiune.

In ceea ce privește altitudinea, pentru înălțimi cuprinse între 1000 și 3000 m, tensiunea maximă admisibilă a transformatorului de tensiune scade cu 1,25% la fiecare 100 m. [4].

In cazul altor condiții meteorologice sau altei frecvențe, sînt valabile indicațiile date în cataloage, sau în caz contrar, se vor cere relații fabricii constructoare.

3) În privința naturii izolației, soluțiile uzuale sînt:

— In exterior cuvă metalică sau de porțelan umplută cu ulei.

— În interior: masă plastică (rășină turnată duroplastică), cuvă umplută cu ulei, cuvă umplută cu masă compundată. Prima soluție prezintă mai multă siguranță electrică și mecanică, dar este în general mai scumpă.

4) Rezultatele calculului se prezintă în proiect sub forma unor breviare. Pot fi luate ca model breviarele anexate

4.2. *Numărul fazelor și conexiunea înfășurărilor primare*

1) Numărul fazelor și conexiunea înfășurărilor primare se aleg in funcție de numărul de faze ale circuitului primar și de receptoarele ce urmează a fi alimentate.

2) Soluții uzuale pentru rețele cu neutrul izolat sau legat la pămînt prin bobină de stingere (fig. 1)

a) Transformator monofazat legat între două faze. Măsoară tensiunea între fazele respective.

b) 2 transformatoare monofazate în V. Măsoară toate tensiunile între faze.

c) 3 transformatoare monofazate în stea, cu neutrul înfășurărilor primare legat la pămînt. Măsoară tensiunile pe fază (față de pămînt) și între faze.

d) 3 transformatoare monofazate în stea, cu neutrul legat la pămînt, avînd două înfășurări secundare. Măsoară tensiunile pe fază (față de pămînt) și între faze, precum și componenta homopolară.

e) Transformator trifazat în stea, cu miez magnetic cu 3 coloane, avînd neutrul înfășurărilor primare izolat. Măsoară tensiunile între faze. Tensiunea măsurată pe fază nu este valabilă decît în cazul tensiunilor simetrice și al sarcinilor echilibrate. Se interzice legarea la pămînt a neutrului înfășurărilor primare, pentru a nu pune în

Rețea cu neutrul izolat sau legat la pămînt prin bobină de stingere

a) Transformator monofazat.

b) 2 transformatoare monofazate în V

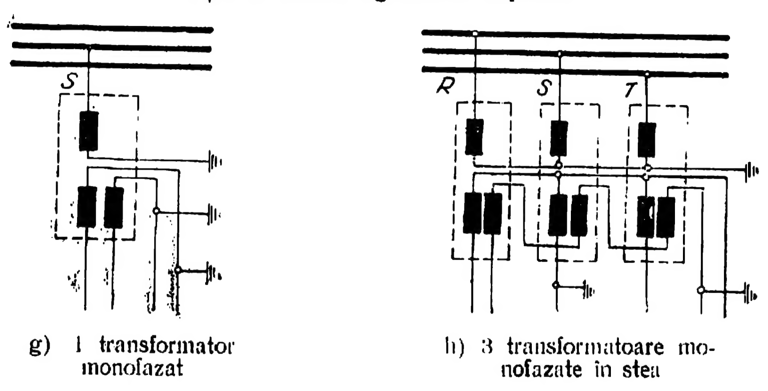
c) 3 transformatoare monofazate în stea, cu o singură înfășurare secundară.

d). 3 transformatoare monofazate în stea, cu două înfășurări secundare.

e). Transformator trifazat în stea, avînd miezul cu 3 coloane.

f). Transformator trifazat în stea, avînd miezul cu 5 coloane.

Rețea cu neutrul legat direct la pămînt



g) 1 transformator monofazat

h) 3 transformatoare monofazate în stea

Fig. 1. Diverse moduri de racordare a transformatoarelor de tensiune

pericol transformatorul prin supraîncălzire, la un defect în rețea. Utilizarea acestor transformatoare de tensiune se evită în general.

f) Transformator trifazat în stea, cu miez magnetic cu 5 coloane, avînd neutrul înfășurărilor primare legat la pămînt. Măsoară tensiunile pe fază (față de pămînt), și între faze, precum și componenta homopolară.

3) Soluții uzuale pentru rețele cu neutrul legat direct la pămînt:

g) Transformator monofazat legat între o fază și pămînt. Măsoară tensiunea pe faza respectivă.

h) 3 transformatoare monofazate în stea, cu neutrul legat la pămînt. Măsoară tensiunile între faze și pe fază, precum și componenta homopolară.

4.3. *Numărul și conexiunea înfășurărilor secundare*

1) Aparatele de măsură, semnalizare, protecție și automatizare se alimentează de regulă de la aceeași înfășurare secundară. In acest scop, transformatoarele de tensiune necesită deci o singură înfășurare secundară.

Fac excepție transformatoarele de tensiune care servesc și la măsurarea componentei homopolare, care vor avea în plus o înfășurare secundară suplimentară special destinată acestui scop.

2) In cazuri excepționale, cînd numărul aparatelor alimentate este prea mare, iar consumul lor depășește valoarea admisibilă, se pot alege transformatoare cu două înfășurări secundare de bază (în măsura posibilităților de procurare). In acest caz, consumatorii vor fi împărțiți în două grupe, alimentate fiecare de la una din înfășurări. Soluția poate fi utilizată și în cazurile în care se cere o siguranță excepțională în alimentarea aparatelor de protecție.

In vederea micșorării căderilor de tensiune în cazul conductorilor de legătură foarte lungi, cele două înfășurări secundare de bază ale fiecărei faze pot fi legate în serie. In această situație însă, tensiunea nominală a aparatelor alimentate trebuie să fie dublă.

De asemenea pot fi necesare două înfășurări secundare cu rapoarte de transformare diferite, de exemplu în cazul anumitor scheme de sincronizare, la care se cere un alt raport de transformare decît cel pentru măsură și protecție.

3) Conexiunea înfășurărilor secundare este indicată în fig. 1.

4.4. *Tensiunea primară nominală*

1) Tensiunea primară nominală U_{1n} va fi următoarea

— fig. 1—a și b: $U_{1n} = U$

— fig. 1—c, d, e, f, g, și h: $U_{1n} = \frac{U}{\sqrt{3}}$

unde U este tensiunea nominală a rețelei (între faze).

2) Transformatoarele vor admite o creștere permanentă a tensiunii rețelei cu 20% peste cea nominală. Pentru aparatele fabricate în țară, această condiție este automat asigurată prin standarde.

3) În rețelele cu neutrul nelegat direct la pămînt, transformatoarele de tensiune care funcționează cu o bornă legată la pămînt și au această bornă neizolată vor admite o creștere permanentă a tensiunii aplicate de $1{,}2\sqrt{3}$ ori peste tensiunea nominală. La transformatoarele fabricate în țară, această condiție este automat respectată.

4) Transformatoarele de tensiune fabricate în țară nu pot funcționa la tensiuni mai mici de 80% din tensiunea nominală, în caz contrar erorile de măsură depășind limita admisibilă. La transformatoarele fabricate în străinătate, tensiunea minimă poate avea alte valori.

În legătură cu aceasta, se atrage atenția că este interzisă racordarea în stea a transformatoarelor monofazate construite pentru a fi legate între faze, întrucît prin aceasta se reduce tensiunea aplicată la 58%.

4.5. *Tensiunea secundară nominală*

1) Tensiunea nominală a înfășurărilor secundare de bază va fi de regulă următoarea

fig. 1—a și b $U_{2n} = 100$ V

fig. 1—c, d, e, f, g și h $U_{2n} = \frac{100}{\sqrt{3}}$ V

2) Tensiunea nominală a înfășurărilor secundare auxiliare (pentru măsurarea componentei homopolare) va fi:

— In cazul rețelelor cu neutrul izolat sau legat la pămînt prin bobină de stingere (fig. 1—d și f)

$$U_{3n} = \frac{100}{3} \text{ V}$$

La defect în rețeaua primară, suma tensiunilor în înfășurările auxiliare este de 100 V. La transformatorul din fig. 1—f, valoarea U_{3n} indicată mai sus este convențională, întrucît există de fapt o singură înfășurare auxiliară, pe coloanele extreme ale miezului magnetic.

— In cazul rețelelor cu neutrul legat direct la pămînt (fig. 1—h)

$$U_{3n} = 100 \text{ V}$$

La defect în rețeaua primară, suma tensiunilor în înfășurările auxiliare este egală cu 100 V.

— Dacă înfășurarea auxiliară servește altui scop decît măsurării componentei homopolare (ex. fig. 1—g), la alegerea tensiunii nominale se va ține seama de scopul urmărit.

3) In cazuri excepționale, în care distanța între transformatoarele de tensiune și aparatele alimentate este deosebit de mare, în scopul micșorării căderilor de tensiune în conductori, se admite trecerea de la tensiunile secundare nominale de 100, $\frac{100}{\sqrt{3}}$ și $\frac{100}{3}$ V la valorile de 200, $\frac{200}{\sqrt{3}}$ și $\frac{200}{3}$ V, cu condiția ca aparatele alimentate să fie corespunzătoare.

In general, în astfel de cazuri se folosesc transformatoare de tensiune cu două înfășurări secundare de bază identice, avînd fiecare tensiunea nominală de 100 sau $\frac{100}{\sqrt{3}}$ V. Prin legarea în serie a acestor înfășurări, se obține o tensiune secundară dublă. De obicei nu este necesară dublarea tensiunii la înfășurările secundare auxiliare.

Calculul secțiunii conductorilor este indicat în instrucțiunile de proiectare privitoare la circuitele secundare

4.6. *Raportul de transformare nominal*

1) Raportul de transformare nominal K_n rezultă din datele determinate conf. 4.4. și 4.5. și se notează sub forma :

— fig. 1 — a, b, c și e U_{1n}/U_{2n}

— fig. 1 — d, f, g și h $U_{1n}/U_{2n}/U_{3n}$.

4.7. *Nivelul de izolație*

1) Nivelul de izolație va respecta valorile indicate în STAS. In cazul transformatoarelor de tensiune fabricate în țară, respectarea nivelului de izolație este asigurată prin standarde și nu este necesară o verificare.

In cazul transformatoarelor de tensiune fabricate în străinătate, nivelul lor de izolație nu trebuie să fie mai mic decît cel standardizat în România

4.8. *Clasa de precizie*

1) Pentru alimentarea aparatelor de măsură este necesară de regulă clasa de precizie 0,5.

Pot face excepție aparatele de măsură destinate exclusiv pentru evidența tehnică (nu comercială), pentru care se admite clasa 1. De asemenea, pentru alimentarea frecvențmetrelor se admit și clasele 1 sau 3

2) Pentru circuitele prin care se realizează interconexiuni cu alte țări sau pentru circuite de mare importantă, se pot prevedea înfășurări de clasa 0,2 (în măsura posibilităților de procurare). Astfel de cazuri se vor stabili de comun acord cu UPDE (Unitatea productivă de dispeceri energetici).

3) Pentru alimentarea aparatelor de protecție și automatizare sînt necesare următoarele clase de precizie :

— Clasa 1 — pentru regulatoare de tensiune, relee direcționale și de distanță.

— Clasa 3 pentru relee de tip voltmetric.

Pentru alte aparate de protecție sau automatizare este necesară după caz clasa 1 sau 3, ținînd seama că la clasa 3 nu se garantează eroarea de unghi.

In ceea ce privește regulatoarele de tensiune, se va cere avizul fabricii constructoare asupra clasei de precizie.

Se menționează că pentru anumite aparate de automatizare, fabrica constructoare livrează transformatoare de tensiune speciale.

4) In cazurile în care aceeași înfășurare alimentează mai multe categorii de aparate, care necesită clase de precizie diferite, înfășurarea va avea clasa de precizie cea mai bună dintre cele necesare (care dă cele mai mici erori).

4.9. *Puterea secundară nominală*

1) Puterea consumată de la fiecare înfășurare nu va depăși puterea nominală a înfășurării. De asemenea, nu va fi mai mică decît limita inferioară, față de care sînt garantate erorile.

Calculul încărcării transformatoarelor de tensiune este indicat în anexă.

2) In măsura posibilului, se va realiza o încărcare cît mai uniformă a fazelor.

3) La calcularea încărcării, consumurile aparatelor vor fi cele indicate de întreprinderea constructoare. In lipsa acestor date, se pot folosi valorile indicate în anexă.

4) Dacă se constată că puterea nominală a înfășurării este depășită, se poate adopta una din următoarele soluții, care urmează a fi justificată economic:

— Alegerea unor transformatoare de tensiune cu o putere secundară nominală mai mare.

— Alegerea unor transformatoare de tensiune cu mai multe înfășurări secundare și repartizarea corespunzătoare a aparatelor alimentate.

— Dublarea transformatoarelor de tensiune, fiecare dintre transformatoare alimentînd o parte din aparate.

Funcționarea în paralel a transformatoarelor de tensiune pe partea secundară sau legarea în paralel a înfășurărilor secundare identice ale unui transformator de tensiune este mai puțin recomandabilă, întrucît este greu de semnalat întreruperea uneia dintre înfășurări și supraîncărcarea de durată a celeilalte.

5) Secțiunea conductorilor circuitelor de tensiune nu intervine în general în alegerea transformatoarelor respective, de aceea nu este indicat în acest capitol calculul corespunzător.

In cazuri excepționale, în care distanța între transformatoarele de tensiune și aparatele alimentate este deosebit de mare, este necesar să se țină seama totuși de secțiunea conductorilor, dar numai în ceea ce privește tensiunea secundară nominală (v. pct. 4.5.3.).

6) In cazurile excepționale în care transformatorul de tensiune servește numai ca sursă de tensiune (de exemplu pentru alimentarea unor lămpi de semnalizare) și nu interesează erorile, mărimea puterii consumate este limitată numai de puterea maximă a înfășurării, pe care nu trebuie să o depășească

4.10. *Altitudinea și condițiile climatice*

1) Condițiile climatice și de altitudine garantate de fabrica constructoare trebuie să corespundă celor reale la locul de montare. Se recomandă luarea în considerare a următoarelor date (conf. V.D.E. 0414/12.62)

a) Altitudinea (presiunea atmosferică)

b). Temperatura ambiantă

— Valoarea maximă de scurtă durată (pînă la 1 oră)

— Valoarea maximă a mediei de 24 ore

Valoarea minimă

— Viteza de variație a temperaturii ambiante (numai în cazuri speciale).

c). Viteza maximă a vîntului

d). Radiația solară (dăunătoare de exemplu în cazul majorității rășinilor sintetice)

e). Umiditatea relativă a aerului

f). Cantitatea precipitațiilor (ploaie, ceață, zăpadă, chiciură, polei, etc.).

g). Impurificare atmosferică mărită (praf, fum, gaze și vapori agresivi, săruri).

h). Influența plantelor și a animalelor mici.

4.11. *Date pentru proiectarea construcțiilor de susținere*

1) Pentru dimensionarea construcțiilor de susținere în cazul montării în exterior a aparatelor, se întocmește o temă, cuprinzînd:

— Cotele principale

— Greutatea proprie a aparatului

— Eforturile maxime de tracțiune transmise de conductorii de legătură (dacă acestea se pot transmite construcțiilor de susținere).

— Presiunea vîntului pe aparat, care se determină cu relația :

$$P = 0{,}7\ S\ \frac{v_{max}^2}{16}\ \text{(kg)}$$

unde S = suprafața expusă presiunii vîntului, proiectată pe un plan vertical (m^2).

v_{max} = viteza maximă a vîntului (m/s). Se determină în raport cu condițiile meteorologice locale, conform instrucțiunilor privitoare la conductorii neizolați flexibili

2) In cazul montării în interior a aparatelor, tema pentru partea de construcție este inclusă în tema generală a sălii de conexiuni

5. Conținutul proiectului

5.1. *Memoriul tehnic*

Se include în memoriul tehnic general al lucrării, în partea privitoare la circuitele primare (alegerea echipamentului electric). Cuprinde:

1) Datele care au stat la baza proiectării

2) Descrierea și justificarea soluțiilor alese și în special a eventualelor particularități nivel de izolație necorespunzător STAS-ului (pentru produse străine), necesitatea unei precizii deosebite pentru măsură, număr mai mare al înfășurărilor secundare, dublarea transformatoarelor de tensiune, condiții meteorologice speciale, etc.

3) Probleme de protecția muncii (atît la montare, cît și în exploatare).

4) Breviarele de calcul

5.2. *Materialul grafic*

Se include în planurile privitoare la circuitele primare. Cuprinde indicarea tipului și a caracteristicilor principale în schema monofilară și în specificația de aparataj, indicarea în plan și în secțiune a poziției de montare și eventuale detalii de fixare. Eventual probleme de protecția muncii.

5.3. *Documentația economică*

1) Antemăsurătoare

2) Deviz

Se includ în partea privitoare la circuitele primare.

6. BIBLIOGRAFIE

1) Butchevici V. I., Vasiliev A. A., Glazunov A. A., Gumin I. I., Gheliconski S. A., Metlina M. V.: Partea electrică a centralelor și a stațiilor electrice. Ed. a III-a. Editura Energetică de Stat. Buc. 1953.

2) Baptidanov L. N., Tarasov V. I.: Echipamentul electric al centralelor și stațiilor electice. Vol. I. Ed. Energetică de Stat, Buc. 1955.

3) Botho Fleck: Hochspannungs- und Niederspannungs-Schaltanlagen. Ed. a IV-a. W. Girardet. Essen. 1958.

4) CEI — Publicația 71 A. Supliment la publicația 71. Ed. 1 — 1962. Recomandări pentru coordonarea izolației.

5) VDE 0414/12.62. Regeln für Messwandler.

6) Hopper A.: Handbuch für Planung, Konstruktion und Montage von Schaltanlagen. Ediția a III-a. W. Girardet. Essen, 1965.

Consumul aparatelor de măsură și protecție

I. *Aparate fabricate în România*

1) Voltmetru feromagnetic VE—4 — 1,5 VA

2) Wattmetru ferodinamic D—1 (pentru 1 circuit de tensiune) — 0,5 „

3) Varmetru ferodinamic D—2 (pentru 1 circuit de tensiune) — 0,5 „

4) Contor de energie activă CA—43 (pentru 1 circuit de tensiune) — 1,5 „

5) Contor de energie activă CA—32 (pentru 1 circuit de tensiune) — 1,3 „

6) Contor de energie reactivă CR—32 (pentru 1 circuit de tensiune) : — 1,3 „

7) Releu instantaneu de tensiune (maximal RT—1 sau minimal RT—2) — ~ 1,8 „

Valorile indicate mai sus sînt conforme cu prospectele uzinelor Electromagnetica. La aparatele de la pct. 4, 5 și 6 s-a aplicat o corecție, considerîndu-se factorul de putere egal cu 0,8.

II. *Aparate fabricate în străinătate*

(Valori informative, utilizabile numai în lipsa datelor exacte ale fabricii).

1) Voltmetru feromagnetic	1,5—7 VA
2) Wattmetru (varmetru) ferodinamic (pentru 1 circuit de tensiune)	0,5— 4 „
3) Frecvențmetru	1 — 5 „
4) Voltmetru înregistrator :	5 — 20 „
5) Contor de inducție (pentru 1 circuit de tensiune) :	1,3— 5 „
6) Regulator automat de tensiune	50 —100 „
7) Releu de tensiune :	1,8— 12 „
8) Releu de distanță	10 — 60 „

Calculul încărcării transformatoarelor de tensiune

1) Se determină din cataloage puterea activă P (în W) și puterea reactivă Q (în Var) consumată de fiecare aparat pe fiecare circuit de tensiune.

La aparatele pentru care se indică în cataloage puterea aparentă P_a (în VA) și factorul de putere cos φ, puterile activă și reactivă rezultă din relațiile :

$$P = P_a \cdot \cos\varphi \qquad Q = P_a \cdot \sin\varphi .$$

Dacă se indică numai puterea aparentă, fără a se preciza factorul de putere, se face ipoteza :

$$\cos\varphi = 0{,}8 \qquad \sin\varphi = 0{,}6 .$$

Aceeași ipoteză se face în cazurile în care se indică în cataloage numai puterea activă P

$$Q = P \operatorname{tg}\varphi = 0{,}75\, P$$

2) Se adună puterile consumate de aparate, stabilindu-se separat puterile totale active și reactive consumate pe fiecare fază și între faze.

3) Rezultă apoi puterea care revine înfășurării secundare a fiecărui transformator de tensiune, astfel :

a) Pentru înfășurări secundare de bază se folosesc relațiile din tabela 1. Se calculează apoi puterea aparentă care revine fiecărei înfășurări

$$P_a = \sqrt{P^2 + Q^2} \qquad \text{(VA)}$$

b) Pentru înfășurări suplimentare destinate măsurării componentei homopolare, se notează P′ + j Q′ puterea totală consumată de aparatele racordate, iar puterea aparentă are valoarea:

$$P'_a = \sqrt{P'^2 + Q'^2} \qquad \text{(VA)}$$

Puterea care revine unei înfășurări

fig. 1 d $P_a = \frac{1}{3} P'_a$

fig. 1 f $P_a = P'_a$

— fig. 1 — h $P_a = P'_a$

4) Puterile consumate trebuie să satisfacă următoarele condiții :

Clasa 0,5 și 1 $0{,}25\ P_{2n} \quad P_a \leqslant P_{2n}$

— Clasa 3 $0{,}50\ P_{2n} < P_a \leqslant P_{2n}$

Dacă puterea consumată depășește puterea nominală a înfășurării, se ia una din măsurile indicate la 4.9.4.

Dacă puterea consumată este prea mică, se adaugă sarcini adiționale cu o putere corespunzătoare. Ele vor putea suporta permanent o creștere a tensiunii cu 20% peste cea nominală.

5) În cazul măsurătorilor de mare precizie menționate la pct. 4.8.2. se recomandă să se țină seama de factorul de putere al circuitului secundar, care trebuie să fie egal cu 0,8.

În acest scop se vor adăuga rezistențe și reactanțe adiționale, astfel încît să se obțină factorul de putere aproximativ :

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \cong 0{,}8 .$$

Rezistențele și reactanțele adiționale vor putea suporta permanent o creștere a tensiunii cu 20% peste cea nominală.

Se recomandă ca determinarea valorilor rezistențelor și reactanțelor adiționale să se facă după montarea circuitelor secundare, pentru a se putea măsura valoarea reală a puterilor activă și reactivă consumate.

6) Dacă există aparate de protecție sau automatizare care pentru un timp scurt (în timpul funcționării instalațiilor de protecție sau automatizare) consumă o putere mai mare decît cea absorbită permanent, calculul încărcării transformatoarelor de tensiune se va face ținînd seama de valoarea consumului de scurtă durată.

Dacă astfel de aparate sînt alimentate de la aceeași înfășurare cu aparatele de măsură, se va determina încărcarea transformatoarelor atît în regim permanent, cît și în regim de scurtă du-

rată. Incărcările vor satisface condiţiile de la pct. 4 de mai sus, cu următoarea menţiune:

— Pentru încărcarea în regim permanent, se ia în considerare puterea nominală P_{2n} a înfăşurării la clasa corespunzătoare aparatelor de măsură.

— Pentru încărcarea în regim de scurtă durată, se ia în considerare puterea înfăşurării la clasa corespunzătoare aparatelor de protecţie sau automatizare. Se admite astfel ca pentru un timp scurt, erorile să crească peste valorile admisibile la măsură, fără a depăşi însă valorile admise la protecţie sau automatizare, adică se admite trecerea în altă clasă de precizie.

Exemplu de calcul

Datele necesare pentru proiectare (conf. 3)

1) Destinația circuitului primar : bare colectoare
2) Numărul de faze ale circuitului primar : 3
3) Tensiunea nominală a circuitului primar : 110 kV
   Tensiunea maximă de funcționare conform STAS 6489-61
4) Modul de tratare a neutrului rețelei : legat direct la pămînt
5) Tensiunile care trebuie măsurate : *R, S, T, R—S, S—T, T—R* și componenta homopolară
6) Destinația aparatelor de măsură evidență tehnică
7) Condiții speciale impuse preciziei măsurătorilor :—
8) Tipul, numărul și consumul aparatelor racordate :

— Aparate de măsură :

3 voltmetre VE-4 (între fazele R—S)	1,5 VA (unitar)
1 voltmetru înregistrator (între fazele S — T)	15 VA
8 wattmetre D-1 (între fazele R — S și S — T)	0,5 VA/circuit
8 varmetre D-2 (între fazele R — S și S — T)	0,5 VA/circuit
8 watt — varmetre înregistratoare (între fazele R — S și S — T)	15 VA/circuit
16 contoare CA-32 (între fazele R — S și S — T)	1,3 VA/circuit
16 contoare CR-32 (între fazele R — S și S — T)	1,3 VA/circuit

— Aparate de protecție:

8 relee de distanță pe fazele R, S, T,	
permanent:	10 VA/fază
timp scurt:	50 VA/fază
pe înfășurarea auxiliară:	10 VA (unitar)
4 relee de tensiune RT-2 (4 între fazele R — S, 3 între fazele S — T, 3 între fazele T — R)	1,8 VA (unitar)

9. Zona geografică și altitudinea: regiunea subcarpatică, altitudine 500 m.

Numărul fazelor și conexiunea înfășurărilor primare (conf. 4.2.)

Fiind necesară măsurarea tensiunii pe fază și între faze și a componentei homopolare, se alege soluția din fig. 1-h, cu trei transformatoare monofazate în stea cu neutrul legat la pămînt.

Numărul și conexiunea înfășurărilor secundare (conf. 4.3.)

1) Toate aparatele de măsură și protecție se vor alimenta de la înfășurarea secundară de bază, conectată în stea cu conductor neutru (fig. 1-h).

2) Pentru releele de distanță va exista de asemenea o alimentare de la înfășurările auxiliare pentru măsurarea componentei homopolare, conectate în triunghi deschis.

Tensiunea primară nominală U_{1n} (conf. 4.4)

1) Tensiunea nominală a rețelei: 110 kV

Tensiunea primară nominală a transformatoarelor de tensiune:

$$U_{1n} = \frac{110}{\sqrt{3}} \text{ kV}.$$

2) Transformatoarele vor putea suporta permanent o tensiune la borne cu 20% mai mare.

Tensiunea secundară nominală (conf. 4.5.)

1) Pentru înfășurarea secundară de bază:

$$U_{2n} = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V}$$

2) Pentru înfăşurarea secundară auxiliară

$$U_{3n} = 100 \text{ V}$$

In cazul unei puneri la pămînt în reţeaua primară, tensiunea care apare la bornele triunghiului deschis este de 100 V.

Raportul de transformare nominal (conf. 4.6)

Rezultă din datele determinate mai sus :

$$K_n = \frac{110.000}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{100}{\sqrt{3}} \Big/ 100 \text{ V}$$

Nivelul de izolaţie (conf. 4.7.)

Nivelul de izolaţie va respecta valorile indicate în STAS. Nu este necesară nici o verificare pentru transformatoarele fabricate în ţară.

Clasa de precizie (conf. 4.8.)

In raport cu aparatele alimentate, sînt necesare următoarele clase de precizie :

— aparate de măsură : clasa 0,5
— relee de distanţă : clasa 1
— relee de tensiune : clasa 3

Pentru înfăşurarea secundară de bază se alege clasa 0,5 determinată de aparatele de măsură.

Pentru înfăşurarea secundară suplimentară se alege clasa 1.

Puterea secundară nominală (conf. 4.9.)

1) Pentru consumul aparatelor utilizate sînt indicate în cataloage numai puterile aparente. Se face ipoteza

$$\cos \varphi = 0{,}8 \qquad \sin \varphi = 0{,}6$$

Rezultă următoarele puteri consumate :

— voltmetru VE-4
$P = 0{,}8 \times 1{,}5 = 1{,}2$ W $\quad Q = 0{,}6 \times 1{,}5 = 0{,}9$ Var
— voltmetru înregistrator
$P = 0{,}8 \times 15 = 12$ W $\quad Q = 0{,}6 \times 15 = 9$ Var
— wattmetru D-1
$P = 0{,}8 \times 0{,}5 = 0{,}4$ W $\quad Q = 0{,}6 \times 0{,}5 = 0{,}3$ Var

— varmetru D-2

$P = 0{,}8\times 0{,}5 = 0{,}4$ W $\quad Q = 0{,}6\times 0{,}5 = 0{,}3$ Var

— watt-varmetru înregistrator

$P = 0{,}8\times 15 = 12$ W $\quad Q = 0{,}6\times 15 = 9$ Var

— contor CA-32

$P = 0{,}8\times 1{,}3 = 1$ W $\quad Q = 0{,}6\times 1{,}3 = 0{,}8$ Var

— contor CR-32

$P = 0{,}8\times 1{,}3 = 1$ W $\quad Q = 0{,}6\times 1{,}3 = 0{,}8$ Var

— releu de distanță

pe fază permanent

$P = 0{,}8\times 10 = 8$ W $\quad Q = 0{,}6\times 10 = 6$ Var

pe fază timp scurt

$P = 0{,}8\times 50 = 40$ W $\quad Q = 0{,}6\times 40 = 24$ Var

pe înfășurarea auxiliară

$P = 0{,}8\times 10 = 8$ W $\quad Q = 0{,}6\times 10 = 6$ Var

— releu de tensiune RT-2

$P = 0{,}8\times 1{,}8 = 1{,}4$ W $\quad Q = 0{,}6\times 1{,}8 = 1{,}1$ Var

2) Puterile totale consumate pe fiecare fază și între faze:

— Fazele R, S și T (consum permanent)

8 relee de distanță

$P' = 8\times 8 = 64$ W $\quad Q' = 8\times 6 = 48$ Var

— Fazele R, S și T (consum de scurtă durată)

8 relee de distanță

$P' = 8\times 40 = 320$ W $\quad Q' = 8\times 24 = 192$ Var

— Între fazele R-S:

3 voltmetre VE-4

$P = 3\times 1{,}2 = 3{,}6$ W $\quad Q = 3\times 0{,}9 = 2{,}7$ Var

8 wattmetre D-1

$8\times 0{,}4 = 3{,}2$ W $\quad Q = 8\times 0{,}3 = 2{,}4$ Var

8 varmetre D-2

$8\times 0{,}4 = 3{,}2$ W $\quad Q = 8\times 0{,}3 = 2{,}4$ Var

8 watt-varmetre înregistratoare

$8\times 12 = 96$ W $\quad Q = 8\times 9 = 72$ Var

16 contoare CA-32

$16\times 1 = 16$ W $\quad Q = 16\times 0{,}8 = 12{,}8$ Var

16 contoare CR-32

$16 \times 1 = 16$ W $\quad Q = 16 \times 0{,}8 = 12{,}8$ Var

4 relee de tensiune RT-2

$4 \times 1{,}4 = 5{,}6$ W $\quad Q = 4 \times 1{,}1 = 4{,}4$ Var

$P'_{RS} = 143{,}6$ W $\quad Q'_{RS} = 109{,}5$ Var

— Între fazele S — T

1 voltmetru înregistrator

$P = 1 \times 12 = 12$ W $\quad Q = 1 \times 9 = 9$ Var

8 wattmetre D-1

$8 \times 0{,}4 = 3{,}2$ W $\quad Q = 8 \times 0{,}3 = 2{,}4$ Var

8 varmetre D-2

$8 \times 0{,}4 = 3{,}2$ W $\quad Q = 8 \times 0{,}3 = 2{,}4$ Var

8 watt-varmetre înregistratoare

$8 \times 12 = 96$ W $\quad Q = 8 \times 9 = 72$ Var

16 contoare CA-32

$16 \times 1 = 16$ W $\quad Q = 16 \times 0{,}8 = 12{,}8$ Var

16 contoare CR-32

$16 \times 1 = 16$ W $\quad Q = 16 \times 0{,}8 = 12{,}8$ Var

3 relee de tensiune RT-2

$3 \times 1{,}4 = 4{,}2$ W $\quad Q = 3 \times 1{,}1 = 3{,}3$ Var

$P'_{ST} = 150{,}6$ W $\quad Q'_{ST} = 114{,}7$ Var

— Între fazele T — R

3 relee de tensiune RT-2

$P = 3 \times 1{,}4 = 4{,}2$ W $\quad Q = 3 \times 1{,}1 = 3{,}3$ Var

$P'_{TR} = 4{,}2$ W $\quad Q'_{TR} = 3{,}3$ Var

— Înfășurarea secundară auxiliară

8 relee de distanță

$P' = 8 \times 8 = 64$ W $\quad Q' = 8 \times 6 = 48$ Var

3) Puterea care revine înfășurării secundare a fiecărui transformator de tensiune:

a) Înfășurarea secundară de bază (conf. tab. 1) — consum permanent:

$$P_R = P'_R + \frac{3\,P'_{RS} + 3\,P'_{TR} + \sqrt{3}\,Q'_{RS} - \sqrt{3}\,Q'_T}{6} =$$

$$= 64 + \frac{3 \times 143{,}6 + 4 \times 4{,}2 + \sqrt{3} \times 109{,}5 - \sqrt{3} \times 3{,}3}{6} =$$

$$= 64 + 105 = 169 \text{ W}$$

$$Q_R = Q'_R + \frac{-\sqrt{3}\,P'_{RS} + \sqrt{3}\,P'_{TR} + 3\,Q'_{RS} + 3\,Q'_{TR}}{6} =$$

$$= 48 + \frac{-\sqrt{3} \times 143{,}6 + \sqrt{3} \times 4{,}2 + 3 \times 109{,}5 + 3 \times 3{,}3}{6} =$$

$$= 48 + 16 = 64 \text{ Var}$$

$$P_S = P'_S + \frac{3\,P'_{RS} + 3\,P'_{ST} - \sqrt{3}\,Q'_{RS} + \sqrt{3}\,Q'_{ST}}{6} =$$

$$= 64 + \frac{3 \times 143{,}6 + 3 \times 150{,}6 - \sqrt{3} \times 109{,}5 + \sqrt{3} \times 114{,}7}{6} =$$

$$= 64 + 149 = 213 \text{ W}$$

$$Q_S = Q'_S + \frac{\sqrt{3}\,P'_{RS} - \sqrt{3}\,P'_{ST} + 3\,Q'_{RS} + 3\,Q'_{ST}}{6} =$$

$$= 48 + \frac{\sqrt{3} \times 143{,}6 - \sqrt{3} \times 150{,}6 + 3 \times 109{,}5 + 3 \times 114{,}7}{6} =$$

$$= 48 + 110 = 158 \text{ Var}$$

$$P_T = P'_T + \frac{3\,P'_{TR} + 3\,P'_{ST} + \sqrt{3}\,Q'_{TR} - \sqrt{3}\,Q'_{ST}}{6} =$$

$$= 64 + \frac{3 \times 4{,}2 + 3 \times 150{,}6 + \sqrt{3} \times 3{,}3 - \sqrt{3} \times 114{,}7}{6} =$$

$$= 64 + 45 = 109 \text{ W}$$

$$Q_T = Q'_T + \frac{-\sqrt{3}\,P'_{TR} + \sqrt{3}\,P'_{ST} + 3\,Q'_{TR} + 3\,Q'_{ST}}{6} =$$

$$= 48 + \frac{-\sqrt{3} \times 4{,}2 + \sqrt{3} \times 150{,}6 + 3 \times 3{,}3 + 3 \times 114{,}7}{6} =$$

$$= 48 + 101 = 149 \text{ Var}.$$

Puterea aparentă:

$$P_{aR} = \sqrt{P_R^2 + Q_R^2} = \sqrt{169^2 + 64^2} = 181 \text{ VA}$$

$$P_{aS} = \sqrt{P_S^2 + Q_S^2} = \sqrt{213^2 + 158^2} = 266 \text{ VA}$$

$$P_{aT} = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} = \sqrt{109^2 + 149^2} = 185 \text{ VA}$$

b) Infășurarea secundară de bază, consum de scurtă durată:

Se modifică numai P'_R, P'_S, P'_T, Q'_R, Q'_S, Q'_T:

$P_R = 320 + 105 = 425$ W $\quad Q_R = 192 + 16 = 208$ Var

$P_S = 320 + 149 = 469$ W $\quad Q_S = 192 + 110 = 302$ Var

$P_T = 320 + 45 = 365$ W $\quad Q_T = 192 + 101 = 293$ Var

Puterea aparentă

$$P_{aR} = \sqrt{P_R^2 + Q_R^2} = \sqrt{425^2 + 208^2} = 473 \text{ VA}$$

$$P_{aS} = \sqrt{P_S^2 + Q_S^2} \quad \sqrt{469^2 + 302^2} = 558 \text{ VA}$$

$$P_{aT} = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} = \sqrt{365^2 + 293^2} = 468 \text{ VA}$$

c) Infășurarea secundară suplimentară pentru măsurarea componentei homopolare:

$$P'_a = \sqrt{P'^2 \quad Q'^2} = \sqrt{64^2 + 48^2} = 80 \text{ VA}.$$

In cazul de față, consumatorii racordați la înfășurarea suplimentară au același factor de putere, deci ar fi fost suficientă adunarea puterilor aparente, fără a le descompune în componentele lor active și reactive (8×10=80 VA).

Puterea care revine fiecărei faze

$$P_a = P'_a = 80 \text{ VA}.$$

Pe baza datelor calculate mai sus, se alege transformatorul de tensiune TEMU-110, avînd caracteristicile:

Raport de transformare $\dfrac{110.000}{\sqrt{3}} \Big/ \dfrac{100}{\sqrt{3}} \Big/ 100$ V

Clasa de precizie: 0,5/1

Puterea secundară nominală:

înfășurarea de bază, la clasa 0,5	300 VA
înfășurarea de bază, la clasa 1	600 VA
înfășurarea suplimentară :	600 VA

4) Condiții impuse puterilor consumate:

a) Infășurarea secundară de bază, clasa 0,5:

$$0,25\ P_{2n} < P_a \leqslant P_{2n}$$

$$0,25 \times 300 = 75 < 266 < 300$$

$$0,25 \times 300 = 75 < 181 < 300$$

Condiția este satisfăcută atît la faza cea mai încărcată (S), cît și la cea mai puțin încărcată (R).

In cazul funcționării releelor de protecție, se admite funcționarea pentru un scurt timp cu clasa 1, necesară releelor (conf. anexei 2, pct. 6)

$$0,25\ P_{2n} < P_a \leqslant P_{2n}$$

$$0,25 \times 600 = 150 < 558 < 600$$

$$0,25 \times 600 = 150 < 468 < 600$$

Condiția este satisfăcută.

b) Infășurarea secundară suplimentară, clasa 1

$$0,25\ P_{2n} < P_a \leqslant P_{2n}$$

$$0,25 \times 600 = 150\ \text{VA} < P_a \leqslant 600\ \text{VA}$$

Condiția nu este satisfăcută. Se va monta o rezistență adițională în paralel cu ceilalți consumatori. Ea va consuma o putere de 100 W la tensiunea de 100 V și va admite o creștere permanentă a tensiunii cu 20% peste cea nominală.

Puterile consumate:

$$P = 64 + 100 = 164\ \text{W} \qquad Q = 48\ \text{Var}$$

Revine înfășurării suplimentare a fiecărui transformator monofazat:

$$P_a = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{164^2 + 48^2} = 171\ \text{VA}.$$

Condiția este acum satisfăcută

$$0,25 \times 600 = 150 < 171 < 600$$

CENTRALA SAU STAȚIA

CIRCUITUL: Bare colectoare 110 kV

Transformatoare de tensiune

1. — Încărcarea înfășurărilor

(Sarcină permanentă)

Aparatele racordate	Numărul aparatelor	Înfășurarea de clasa 0,5																Înfășurarea suplim.			
		Sarcină unitară		Sarcina totală														Sarcina unitară		Sarcina totală	
				R		S		T		R-S		S-T		T-R							
		P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q			P	Q	P	Q
		W	Var	W	Var	W	Var	W	Var	W	Var	W	Var	W	Var			W	Var	W	Var
Voltmetre VE-4	3	1,2	0,9							3,6	2,7										
Voltmetru înregistrator	1	12,0	9,0									12,0	9,0								
Wattmetre D-1	8	0,4	0,3							3,2	2,4	3,2	2,4								
Warmetre D-2	8	0,4	0,3							3,2	2,4	3,2	2,4								
Watt-varmetre înregistratoare	8	12,0	9,0							96,0	72,0	96,0	72,0								
Contoare CA-32	16	1,0	0,8							16,0	12,8	16,0	12,8								
Contoare CR-32	16	1,0	0,8							16,0	12,8	16,0	12,8								
Relee de distanță	8	8,0	6,0	64,0	48,0	64,0	48,0	64,0	48,0									8,0	6,0	64,0	48,0
Relee de tensiune RT-2	4	1,4	1,1							5,6	4,4										
Relee de tensiune RT-2	3	1,4	1,1									4,2	3,3								
Relee de tensiune RT-2	3	1,4	1,1											4,2	3,3						
Rezistență adițională	1																	100,0	—	100,0	—
TOTAL	—	—	—	64,0	48,0	64,0	48,0	64,0	48,0	143,6	109,5	150,6	114,7	4,2	3,3			—	—	164,0	48,0

CENTRALA SAU STAȚIA ....

CIRCUITUL: Bare colectoare 110 kV

Transformatoare de tensiune

2. — Incărcarea înfășurărilor

(Sarcină de scurtă durată)

Aparatele racordate	Numărul aparatelor	Înfășurarea de clasa 0.5														Înfășurarea suplimentară			
		Sarcina unitară		Sarcina totală												Sarcina unitară		Sarcina totală	
				R		S		T		R-S		S-T		T-R					
		P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q
		W	Var	W	Var	W	Var	W	Var	W	Var	W	Var	W	Var	W	Var	W	Var
Voltmetre VE-4	3	1,2	0,9							3,6	2,7								
Voltmetru înregistrator	1	12,0	9,0									12,0	9,0						
Wattmetre D-1	8	0,4	0,3							3,2	2,4	3,2	2,4						
Varmetre D-2	8	0,4	0,3							3,2	2,4	3,2	2,4						
Watt-varmetre înregistratoare	8	12,0	9,0							96,0	72,0	96,0	72,0						
Contoare CA-32	16	1,0	0,8							16,0	12,8	16,0	12,8						
Contoare CR-32	16	1,0	0,8							16,0	12,8	16,0	12,8						
Relee de distanță	8	40,0	24,0	320,0	192,0	320,0	192,0	320,0	192,0							8,0	6,0	64,0	48,0
Relee de tensiune RT-2	4	1,4	1,1							5,6	4,4								
Relee de tensiune RT-2	3	1,4	1,1									4,2	3,3						
Relee de tensiune RT-2	3	1,4	1,1											4,2	3,3				
Rezistență adițională	1															100,0	—	100,0	—
TOTAL	—	—	—	320,0	192,0	320,0	192,0	320,0	192,0	143,6	109,5	150,6	114,7	4,2	3,3	—	—	164,0	48,0

CENTRALA SAU STAŢIA..........................
Zona geografică şi altitudinea :
reg. subcarpatică, 500 m.

Transformatoare de tensiune

3. — Alegerea transformatoarelor

Circuitul primar	Tipul transformatorului de tensiune	Conexiunea (figura)	Tensiuni nominale kV		Clasa de precizie	Regimul sarcinii	Puterea secundară nominală	Limita inferioară	Puteri consumate				
			Primar	Secundar			P_{2n}	(0,25 sau 0 5) P_{2n}	Faza	P	Q	P_a	cos φ
							VA	VA		W	Var	VA	—
Bare colectoare 110 kV	TEMU 110	1 — h	$\frac{110}{\sqrt{3}}$	$\frac{0,1}{\sqrt{3}}$	0,5	Permanent (cl. 0,5)	300	75	*R*	169	64	181	*)
									S	213	158	266	*)
									T	109	149	185	*)
						Scurtă durată (cl. 1)	600	150	*R*	425	208	473	*)
									S	469	302	558	*)
									T	365	293	468	*)
				0,1	1	Permanent	600	150	—	64	48	80	*)

*) Se completează numai în cazul măsurătorilor de mare precizie.

Transformatoare de tensiune capacitive

1) Transformatoarele de tensiune capacitive sînt supuse în principiu aceloraşi reguli privitoare la performanţe ca şi cele inductive. La alegerea lor trebuie să se respecte îndrumările date în prezentele instrucţiuni.

2) Adesea, transformatoarele de tensiune capacitive îndeplinesc şi funcţia de condensatoare cu cuplare de înaltă frecvenţă. In acest caz, în afară de caracteristicile indicate pentru transformatoarele de tensiune inductive, trebuie să se ia în considerare şi capacitatea electrică. Valoarea acesteia depinde de tipul şi caracteristicile instalaţiei de înaltă frecvenţă, dar determinarea ei nu face obiectul prezentelor instrucţiuni.

3) Puterea secundară nominală a transformatoarelor de tensiune capacitive este în general considerabil mai mică decît a celor inductive. Din această cauză, cît şi din cauza utilizării lor drept condensatoare cu cuplare, transformatoarele de tensiune capacitive se montează de obicei la fiecare celulă. In aceste condiţii ele trebuie să alimenteze mai puţine aparate şi sînt suficiente puteri secundare nominale mai mici.

4) Transformatoarele de tensiune capacitive sînt sensibil influenţate de variaţiile de frecvenţă, de cîmpurile electrice perturbatoare (produse de exemplu de conductorii învecinaţi), de ploaie sau ceaţă, de starea de curăţenie a suprafeţelor izolante exterioare, de diferenţele de temperatură între părţile de înaltă şi joasă tensiune ale condensatorului.

Din acest motiv, nu se garantează de obicei o clasă de precizie mai bună decît 0,5 la aceste transformatoare de tensiune.

La alegerea unor astfel de aparate, în afară de indicarea clasei de precizie, se va da o deosebită atenţie cauzelor perturbatoare de mai sus şi erorilor suplimentare pe care le pot produce.

Conform VDE 0414/12.62, erorile de mărime şi de unghi ale clasei de precizie nominale nu trebuie să fie depăşite cu mai mult

de 30%, în cazul apariției concomitente sau numai a unora din cauzele perturbatoare indicate mai sus.

5) Transformatoarele de tensiune capacitive au o tendință marcată de oscilație a tensiunii secundare la orice variație bruscă a tensiunii primare, de exemplu la un scurt-circuit. Faptul se datorește existenței unui mic transformator inductiv conectat la partea de joasă tensiune a celui capacitiv și făcînd parte integrantă din acesta. Inductanța și capacitatea formează astfel un circuit oscilant.

Oscilațiile sînt deosebit de supărătoare la transformatoarele capacitive care alimentează relee foarte rapide (de ordinul 0,1 secunde), fapt de care trebuie să se țină seama la alegerea transformatoarelor de tensiune.

Nu se recomandă încărcarea transformatoarelor capacitive pînă la puterea maximă (determinată de limita termică), întrucît prin aceasta se înrăutățește comportarea la oscilații.

Spre deosebire de transformatoarele capacitive, cele inductive transmit în secundar oscilații de amplitudine redusă și de scurtă durată.

6) Transformatoarele de tensiune capacitive sînt în general mai ieftine și pot îndeplini și funcția de condensatoare de cuplare. De obicei însă, numărul lor într-o instalație este mai mare decît al celor inductive racordate la bare.

Transformatoarele inductive sînt mai indicate acolo unde se cer puteri și precizii mari și se alimentează relee rapide. Ele servesc de asemenea și pentru descărcarea sarcinii capacitive a liniilor electrice aeriene, după deconectare.

Formule pentru calcularea încărcării transformatoarelor de tensiune

Înfăşurări secundare de bază

Conex. transf. conf. fig.	Schema de racordare a aparatelor alimentate	Formule de calcul	
		Puterea activă	Puterea reactivă
1 — a, g	$P'+jQ'$	$P=P'$	$Q=Q'$
1 — b	R, S, T; $P'_{RS}+jQ'_{RS}$; $P'_{RT}+jQ'_{RT}$; $P'_{TS}+jQ'_{TS}$; $P'+jQ'$; $P'+jQ'$; $P'+jQ'$	$P_{RS}=P'_{RS}+\frac{P'_{RT}-\sqrt{3}\,Q'_{RT}}{2}+\frac{3P'-\sqrt{3}\,Q'}{2}$ $P_{TS}=P'_{TS}+\frac{P'_{RT}+\sqrt{3}\,Q'_{RT}}{2}+\frac{3P'+\sqrt{3}\,Q'}{2}$	$Q_{RS}=Q'_{RS}+\frac{\sqrt{3}P'_{RT}+Q'_{RT}}{2}+\frac{\sqrt{3}P'+3Q'}{2}$ $Q_{TS}=Q'_{TS}+\frac{-\sqrt{3}\,P'_{RT}+Q'_{RT}}{2}+\frac{-\sqrt{3}P'+3Q'}{2}$
1 — c, d, f, h	R, S, T, 0; $P'_{RS}+jQ'_{RS}$; $P'_{TR}+jQ'_{TR}$; $P'_{ST}+jQ'_{ST}$; $P'_R+jQ'_R$; $P'_S+jQ'_S$; $P'_T+jQ'_T$	$P_R=P'_R+\frac{3P'_{RS}+3P'_{TR}+\sqrt{3}\,Q'_{RS}-\sqrt{3}\,Q'_{TR}}{6}$ $P_S=P'_S+\frac{3P'_{RS}+3P'_{ST}-\sqrt{3}\,Q'_{RS}+\sqrt{3}\,Q'_{ST}}{6}$ $P_T=P'_T+\frac{3P'_{TR}+3P'_{ST}+\sqrt{3}\,Q'_{TR}-\sqrt{3}\,Q'_{ST}}{6}$	$Q_R=Q'_R+\frac{-\sqrt{3}P'_{RS}+\sqrt{3}P'_{TR}+3Q'_{RS}+3Q'_{TR}}{6}$ $Q_S=Q'_S+\frac{\sqrt{3}P'_{RS}-\sqrt{3}P'_{ST}+3Q'_{RS}+3Q'_{ST}}{6}$ $Q_T=Q'_T+\frac{-\sqrt{3}P'_{TR}+\sqrt{3}P'_{ST}+3Q'_{TR}+3Q'_{ST}}{6}$
1 — e	R, S, T; $P'_{RS}+jQ'_{RS}$; $P'_{TR}+jQ'_{TR}$; $P'_{ST}+jQ'_{ST}$; $P'+jQ'$; $P'+jQ'$; $P'+jQ'$	$P_R=P'+\frac{3P'_{RS}+3P'_{TR}+\sqrt{3}\,Q'_{RS}-\sqrt{3}\,Q'_{TR}}{6}$ $P_S=P'+\frac{3P'_{RS}+3P'_{ST}-\sqrt{3}\,Q'_{RS}+\sqrt{3}\,Q'_{ST}}{6}$ $P_T=P'+\frac{3P'_{TR}+3P'_{ST}+\sqrt{3}\,Q'_{TR}-\sqrt{3}\,Q'_{ST}}{6}$	$Q_R=Q'+\frac{-\sqrt{3}P'_{RS}+\sqrt{3}P'_{TR}+3Q'_{RS}+3Q'_{TR}}{6}$ $Q_S=Q'+\frac{\sqrt{3}P'_{RS}-\sqrt{3}P'_{ST}+3Q'_{RS}+3Q'_{ST}}{6}$ $Q_T=Q'+\frac{-\sqrt{3}P'_{TR}+\sqrt{3}P'_{ST}+3Q'_{TR}+3Q'_{ST}}{6}$